

Электроник

Өнгөт Гэрэл Үүсгэгч Ашигласан Синхрон Удирдлагатай Гурван Хэмжээст Цэгэн Гэрэл Үүсгэгч Дэлгэц

Д.Номин-Эрдэнэ*, Т.Төгөлдөр, Б.Ганбат

Электроник, Холбооны Инженерчлэлийн Тэнхим, Хэрэглээний Шинжлэх Ухаан, Инженерчлэлийн Сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль

Received on 2021.12.02; Revised on 2022.02.23; Accepted on 2022.03.18

*Холбоо баригч зохиогч: nomin-erdene@seas.num.edu.mn

Хураангуй

Цэгэн гэрэл үүсгэгч (ЦГҮ) дэлгэц нь хар цагаан Spatial Light Modulator (SLM) ашигладаг учраас хар цагаан гурван хэмжээст (3D) дүрс үүсгэдэг. Өндөр үнэтэй өнгөт SLM ашиглахгүйгээр хар цагаан 3D дүрс үүсгэдэг ЦГҮ дэлгэцийн гэрэл үүсгэгчийн өнгийг улаан, ногоон, цэнхэр (RGB) болгосноор хар цагаан ЦГҮ дэлгэц нь өнгөт 3D дүрсийг үүсгэдэг болох юм. Хоёр болон түүнээс дээш тооны ялгаатай өнгийн 3D дүрс үүсгэдэг өнгөт ЦГҮ дэлгэцийг хэрэгжүүлэхдээ RGB гэрэл үүсгэгчийн өнгө болон SLM-д үзүүлэх Elemental Image (EI)-үүдийг 15 Гц давтамжтайгаар синхрон удирдаж ажиллуулсан. Ингэснээр хүний нүд ялгаатай өнгөтэй 3D дүрсүүдийг харж чадсан. Бид RGB гэрэл үүсгэгч ашиглан түүнийг SLM-тэй синхрон удирдсанаар өнгөт ЦГҮ дэлгэцтэй болсон бөгөөд өнгөт SLM ашиглаагүй учраас бага өртгөөр, хялбар аргаар шийдвэрлэсэн давуу талтай.

Түлхүүр үгс: Three-dimensional display; Point Light Source Display; Integral Image.

1 Удиртгал

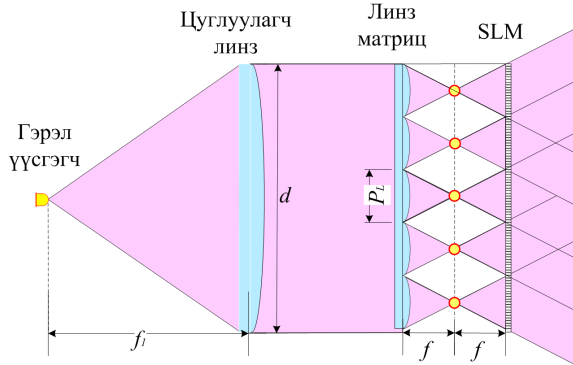
Одоогоор 3D дүрс үзүүлдэг Stereoscope дэлгэц [1-2], Autostereoscopic дэлгэц [3-4] болон Нийлмэл дүрсийн дэлгэц [5-6] зэрэг олон технологиуд байдаг. Нийлмэл дүрсийн дэлгэцийн төрөлд хамаарах ЦГҮ дэлгэцийн үүсгэсэн 3D дүрсийг үзэгч нь туйлшруулагч бүхий нүдний шилгүй харах бөгөөд харагдах өнцөг дотроо олон хүн зэрэг үздэг давуу талтай боловч харагдах өнцөг бага, нягтшил бага гэх мэт дутагдалтай. ЦГҮ дэлгэц нь 3D дүрсийн гүнийг чөлөөтэй илэрхийлдгээрээ нийлмэл дүрсийн дэлгэцээс ялгаатай бөгөөд давуу талтай. ЦГҮ дэлгэцийн үзүүлэлтийг сайжруулах олон шинэ судалгаа [7-9] хэвлэгдэж байгаа ч өнгөт гэрэл үүсгэгч ашигласан ЦГҮ дэлгэцийн судалгаа төдийлөн их биш байна. Ихэвчлэн өнгөт тоон холографийн судалгаа хийгдэж байна. Kim Y нарын RGB LED чиптэй синхрончлогдсон удирдлагын хавтан ашигласан хугацааны хуваарилалт (time-division) бүхий тоон холографийн арга нь энгийн 60 Гц давтамжтай шингэн кристалл дэлгэц (LCD) ашиглан лазерыг орлуулж RGB LED чиптэй синхрон удирдлагын хавтангаар өнгөний сигналыг тус бүр 20 Гц давтамжтайгаар дамжуулж өнгөт 3D дүрс үүсгэсэн [10]. Энэ арга нь өндөр давтамжтай LCD дэлгэц ашигладаггүй ч синхрончлолын дохио биш EI-ийг SLM-д дамжуулдаг учраас удаан, өртөг өндөр гэх мэт дутагдалтай. Oikawa M нарын гурван ширхэг LCD дэлгэц, гурван үндсэн өнгийн лазер ашигласан холографийн арга нь өнгөт

3D дүрсийг гаргадаг боловч өртөг өндөртэй [11-12]. Yagac F нарын SLM ашигласан гурван фазын холографийн арга [13] болон Simobaba T нарын 100 Гц өндөр давтамжтай LCD дэлгэц ашигласан арга [14] мөн Field-Programmable Gate Array чип ашигласан холографийн аргууд [15] нь өнгөт 3D дүрс үүсгэдэг давуу талтай боловч өртөг өндөр, тооцоолол их зэрэг дутагдалтай. Эдгээр аргууд нь өндөр үнэтэй LCD дэлгэц болон лазер ашигладаг учраас өртөг өндөр болох дутагдалтай. Иймээс хялбар аргаар, хямд өртгөөр өнгөт ЦГҮ дэлгэцийг бүтээх шаардлагатай байна. Өгүүллийн 2-р бүлэгт ЦГҮ дэлгэцийн үзүүлэлтүүд болон EI үүсгэх тооцооллыг, 3-р бүлэгт бидний дэвшүүлж буй RGB гэрэл үүсгэгчийг хар цагаан SLM-тэй синхрон удирдаж өнгөт ЦГҮ дэлгэцийг хэрэгжүүлэх шинэ аргын талаар, 4-р бүлэгт туршилтын үр дүнг, 5-р бүлэгт дүгнэлтийг танилцуулна.

2 Цэгэн гэрэл үүсгэгч дэлгэц

Зураг 1-д харуулснаар ЦГҮ дэлгэц нь гэрэл үүсгэгч, цуглуулагч линз, линз матриц, SLM-ээс бүрддэг. Цуглуулагч линзийн фокусын зайд, оптик гол тэнхлэгт гэрэл үүсгэгчийг байрлуулснаар цуглуулагч линзийн өндөр d -ийн хэмжээтэй параллель цацраг үүснэ. Параллель цацраг нь линз матрицаар нэвтэрч түүний фокусын зайд, оптик гол тэнхлэгт цуглардаг. Үүнийг ЦГҮ гэнэ. Хэрэв SLM-г $2f$ зайнаас бага зайд байрлуулбал SLM-н зарим хэсэг нь

ашиглагдахгүй учир гэрэлгүй болно. Харин $2f$ зайнаас их зайд SLM-г байрлуулбал гэрлийн муж давхардах учир давхардсан 3D дүрс үүсгэх дутагдалтай.

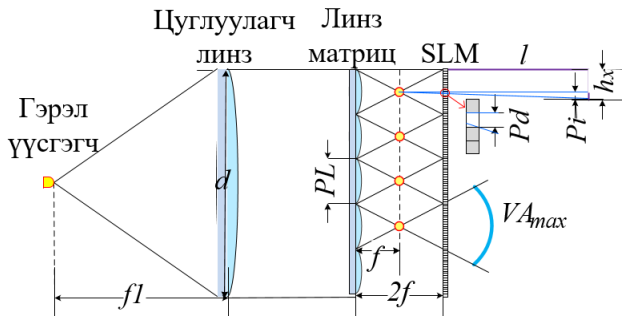


Зураг 1: ЦГҮ дэлгэц

Тиймээс ЦГҮ-ийн гэрэл тархах муж давхардахгүй байрлал буюу Зураг 1-д харуулснаар линз матрицаас $2f$ зайд SLM байрлуулдаг.

2.1 Цэгэн гэрэл үүсгэгч дэлгэцийн параметрууд

ЦГҮ дэлгэцийн нягтшил болон харагдах өнцгийг Зураг 2-д харуулав.



Зураг 2: ЦГҮ дэлгэцийн нягтшил болон харагдах өнцөг.

SLM-ийн нэг цэгийн өсгөлтийн урвуугаар ЦГҮ дэлгэцийн нягтшил тодорхойлогдох бөгөөд илэрхийлэл (1)-д үзүүлэв.

$$R = \frac{1}{P_i} = \frac{P_d \cdot f}{f + l} \quad (1)$$

Үүнд линз матрицын нэг линзийн фокусын зай f , SLM-ийн нэг цэгийн хэмжээ P_d , үүссэн 3D дүрсийн нэг цэгийн хэмжээ P_i , SLM-ээс 3D дүрс хүртэлх зай l болно.

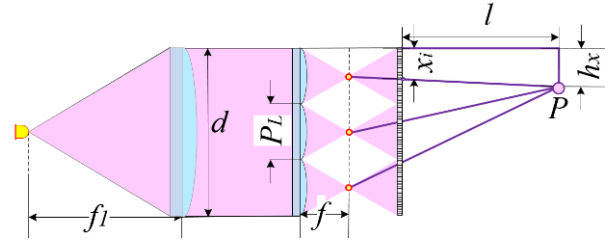
ЦГҮ дэлгэцийн харагдах өнцөг нь ЦГҮ-ийн гэрлийн мужийн захын хоёр цацрагийн хоорондох өнцгөөр илэрхийлэгдэх бөгөөд илэрхийлэл (2)-д тодорхойлов.

$$V_A = 2 \cdot \arctan \cdot \frac{P_L}{2 \cdot f} \quad (2)$$

Үүнд линз матрицын нэг линзийн өндөр P_L болно.

2.2 Elemental Image үүсгэх

Өөр өөр ЦГҮ-ээс ирж байгаа цацрагуудын огтлолцол дээр 3D дүрс үүсдэгийг Зураг 3-д харуулав. Эдгээр цацрагуудын SLM-ээр нэвтрэх цэгийг EI гэж нэрлэдэг.



Зураг 3: 3D дүрсийн Elemental Image үүсгэх.

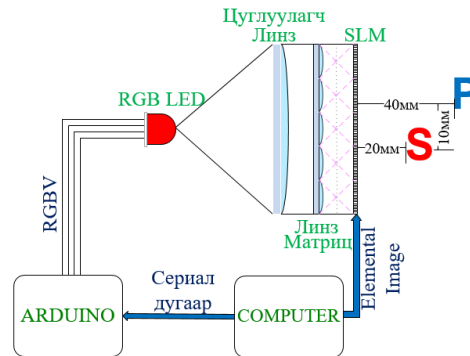
Зураг 3-д SLM-ээс l зайд дэлгэцийн захаас h_x зайд байгаа 3D "P" цэг гурван цацрагийн огтлолцол дээр үүсэж байгааг үзүүлэв. Уг гурван цацрагийг линз матрицын линзийн дугаар i -аас хамааруулан ерөнхий тохиолдолд тооцоолсныг илэрхийлэл (3)-д харуулав.

$$x_i = P_L \cdot (i - \frac{1}{2}) + [h_x - (P_L \cdot (i - \frac{1}{2}))] \cdot \frac{f}{l + f} \quad (3)$$

Үүнд 3D цэг байрлах x тэнхлэг дагуух өндөр h_x болно.

3 Өнгөт цэгэн гэрэл үүсгэгч дэлгэцийн шинэ арга

ЦГҮ дэлгэцийн гэрэл үүсгэгчийг RGB LED гэрэл үүсгэгчээр сольж, SLM-д үзүүлэх EI-ийг түүнтэй синхрон удирдсанаар өнгөт 3D дүрсийг үзүүлдэг ЦГҮ дэлгэцтэй болох юм.



Зураг 4: 3D дүрсийн Elemental Image үүсгэх.

SLM-д үзүүлэх EI болон түүнд харгалзах гэрэл үүсгэгчийн өнгийг синхрон удирдсанаар ялгаатай өнгөтэй 3D дүрсүүдийг үүсгэх боломжтой юм. Зураг 4-д харуулснаар компьютероос EI болон компьютерын сериал гаралтыг MATLAB програмаар тодорхой давтамжтайгаар синхрончлон удирдана. Тухайн давтамж нь SLM-н ажиллах давтамжийг ЦГҮ дэлгэц нь хэдэн өнгийн дүрс үүсгэх тоогоор хуваасантай тэнцүү байх юм. Бидний хувьд хоёр өөр өнгийн 3D дүрс үүсгэдэг ЦГҮ дэлгэцийг турших тул 15 Гц давтамжтайгаар ажиллуулсан. Зураг 4-д үзүүлснээр компьютероос "S" дүрсийн EI-ийг SLM рүү гаргах агшинд компьютерын сериал гаралтаар Arduino Mega-тай холбогдсон RGB LED-ийг улаан өнгөөр асаах сигнал илгээнэ. SLM болон RGB LED-ийн ажиллах давтамж нь тус бүр 15 Гц байх бөгөөд дараагийн 15 Гц-д "P" дүрсийн EI-ийг SLM-д гаргаад RGB LED-ийн хөх гэрлийг асаана. Эдгээр хоёр үйлдэл нь нөхцөлгүй давталтаар ажиллах бөгөөд өнгөт ЦГҮ дэлгэц нь 15 Гц туршид зөвхөн нэг дүрс, дараагийн 15 Гц-д дахин нэг дүрс үзүүлэх бөгөөд хүний нүд хоёр ялгаатай дүрсийг нэгэн зэрэг харах юм. Давтамж ихсэх тусам хүний нүд ЦГҮ дэлгэцийн үүсгэж байгаа 3D дүрсний өнгөний ялгарлыг сайн хардаг.

4 Туршилтын үр дүн

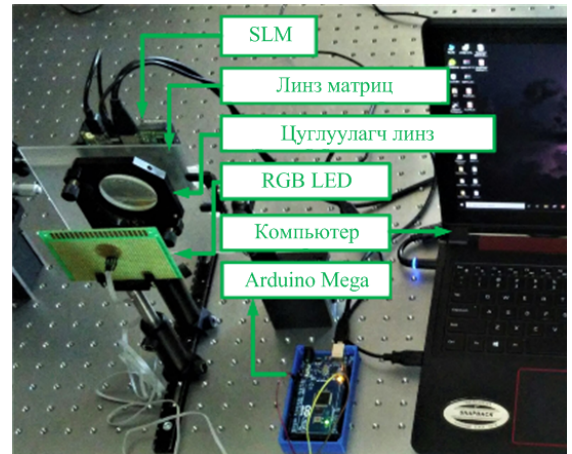
ЦГҮ дэлгэцийн RGB гэрэл үүсгэгчийг цуглуулагч линзийн фокусын зайд байрлуулан параллель цацраг үүсгэж байгаа туршилт, цуглуулагч линзийн өмнө линз матриц байрлуулан ЦГҮ үүсгэж байгаа туршилтыг тус тус гүйцэтгэснээр өнгөт ЦГҮ дэлгэцийн техник хангамж бэлэн болох юм.

Хүснэгт 1: Туршилтын параметрууд

Зориулалт	Үзүүлэлт
Өнгөт гэрэл үүсгэгч	RGB LED модуль
Цуглуулагч линз	$d=50.8$ мм; $f_l=61.8$ мм
Линз матриц	$P_L=1$ мм; $f=3.3$ мм
SLM	1024 x 768 px; 60 Гц; 27 мм x 36 мм; 8 бит (256 gray levels)
Сарниулагч	77 мм x 75 мм
Камер	12 Мрх
Arduino Mega хавтан	16 МГц; USB; 5V

Зураг 5-д өнгөт ЦГҮ дэлгэцийн техник хангамж болон Хүснэгт 1-д түүний үзүүлэлтийг харуулав. ЦГҮ дэлгэцийн RGB гэрэл үүсгэгчийг цуглуулагч линзийн фокусын зайд байрлуулахад параллель цацраг үүссэн туршилтын үр дүнг Хүснэгт 2-д харуулав. Цуглуулагч линзээр гэрэл үүсгэгчийн гэрэл нэвтрээд параллель болсон эсэхийг шалгахдаа хэмжигч шугамыг цуглуулагч линзээс 55 мм, 85 мм, 155 мм зайд байрлуулаад туссан гэрлийн диаметрийг хэмжсэн. Хэмжилтийн үр дүнд 50 мм буюу

цуглуулагч линзийн диаметрийн хэмжээтэй тэнцүү байсан тул параллель цацраг үүссэн гэж үзсэн.



Зураг 5: Тохиргоо хийсэн синхрон удирдлагатай өнгөт ЦГҮ дэлгэц.

Цуглуулагч линзийн фокусын зайд RGB гэрэл үүсгэгч байрлуулан цуглуулагч линзийн өмнө линз матриц нэмж байрлуулан ЦГҮ-ийн туршилтыг хийсэн.

Хүснэгт 2: Параллель цацрагийн туршилтын үр дүн

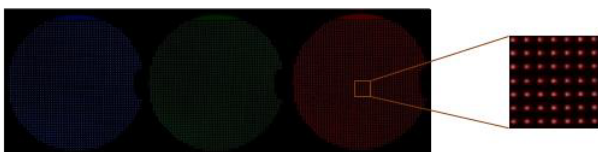
RGB LED-ний өнгө	Цуглуулагч шугам 55мм	линзээс хүртэлх зай 85мм	хэмжигч 155мм
Улаан			
Ногоон			
Цэнхэр			

ЦГҮ дэлгэцэд RGB LED байрлуулахад ЦГҮ үүсэн эсэхийг шалгах туршилтад сарниулагчийг линз матрицын урд байрлуулан 0.1 мм алхамтайгаар линз матрицаас 0 мм-с 3.3 мм зайд шилжүүлж сарниулагч дээр туссан гэрлийн мужаар шалгаж туршсан. Сарниулагчийг зөвхөн ЦГҮ үүссэн эсэхийг шалгах туршилтад ашигласан бөгөөд бидний дэвшүүлж буй өнгөт ЦГҮ дэлгэцийн бүрдэл хэсэгт орохгүй. Сарниулагч линз матрицаас 0 мм буюу линз матриц дээр байх үеийн болон фокусын хавтгай буюу линз матрицаас 3.3 мм зайд байрлуулсан

туршилтын үр дүнг Зураг 6 болон Зураг 7-д үзүүлэв.

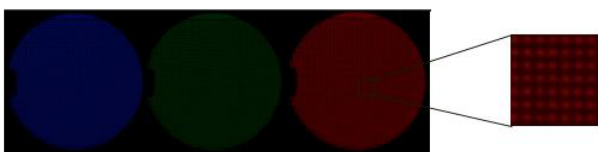


Зураг 6: Линз матрицаас 0 мм зайд сарниулагчийг байрлуулсан туршилтын үр дүн.



Зураг 7: Линз матрицаас 3.3 мм зайд сарниулагчийг байрлуулахад ЦГҮ үүссэн туршилтын үр дүн.

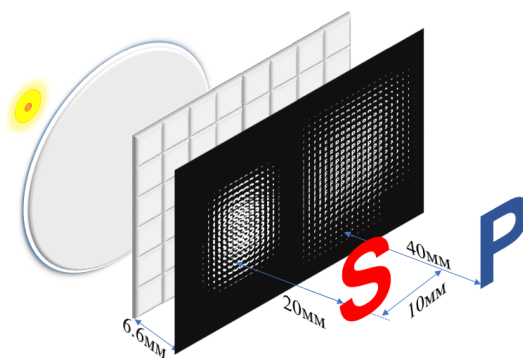
Фокусын уртыг хоёр дахин авсан буюу 6.6 мм зайд сарниулагчийг байрлуулсан туршилтын үр дүнг Зураг 8-д харуулав.



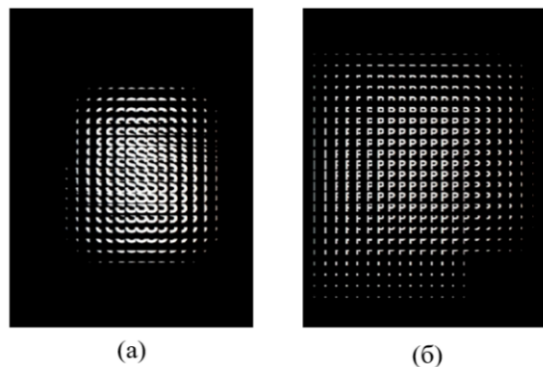
Зураг 8: Линз матрицаас 6.6 мм зайд сарниулагчийг байрлуулсан туршилтын үр дүн.

ЦГҮ дэлгэцэд “S” болон “P” дүрсийг үүсгэх геометр байгуулалтыг Зураг 9-д харуулав. Тухайн “S” болон “P” 3D дүрсийн цэг бүрийг Бүлэг 2-ын илэрхийлэл (3)-аар MATLAB-аар EI-ийг үүсгэснийг Зураг 10(a) болон (б)-д үзүүлэв.

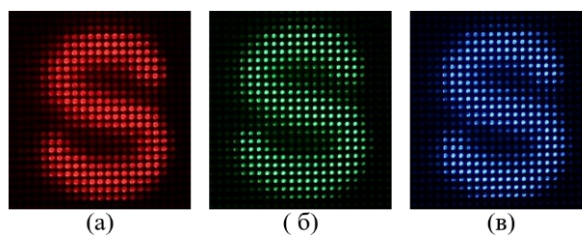
SLM-ийг линз матрицаас 6.6 мм буюу $2f$ зайд байрлуулан гэрэл үүсгэгчээ гурван өөр өнгөөр гэрэлтүүлэн зөвхөн “S” дүрсийн EI-ийг SLM-д гаргахад өнгөт ЦГҮ дэлгэцийн үүсгэсэн 3D дүрсийн туршилтын үр дүнг Зураг 11-д харуулав. Өнгөт ЦГҮ дэлгэц нь хоорондоо 10 мм зайтай, SLM-ээс 20 мм зайд улаан өнгийн “S” дүрс, 40 мм зайд цэнхэр өнгийн “P” дүрсийг үүсгэх туршилтыг гүйцэтгэхийн тулд SLM-д үзүүлэх дүрсийн EI болон түүнд харгалзах гэрэл үүсгэгчийн өнгийг синхрон удирдах шаардлагатай болсон. Ингэхдээ “S” болон “P” дүрсийн EI-үүдийг MATLAB-ын imshow функцийг ашиглан SLM-д 1 Гц давтамжтайгаар харуулсан. Өнгөт ЦГҮ дэлгэц нь 3D “S” дүрсийг улаан өнгөөр, “P” дүрсийг цэнхэр өнгөөр зэрэг үүсгэхийн тулд дүрс бүрийн EI-ийг SLM-д гаргана.



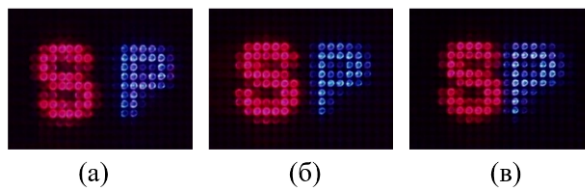
Зураг 9: Өөр өөр өнгийн “S” болон “P” дүрсийн геометр байгуулалт.



Зураг 10: Гурван хэмжээст (a) “S” болон (б) “P” дүрсийн Elemental Image.



Зураг 11: Өнгөт ЦГҮ дэлгэцийн үүсгэсэн (a) улаан (б) ногоон болон (в) цэнхэр 3D “S” дүрс.



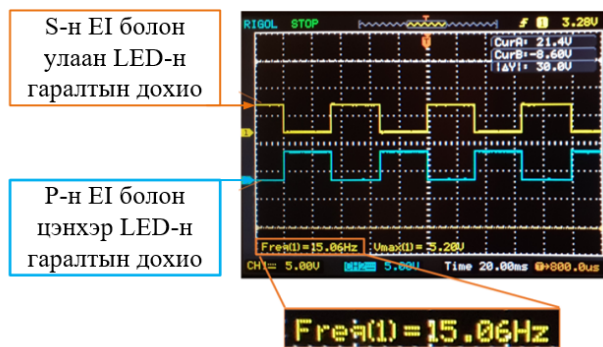
Зураг 12: Өнгөт ЦГҮ дэлгэцийн үүсгэсэн ялгаатай өнгөтэй 3D дүрсийг (a) зүүн 8° , (б) төв 0° болон (в) баруун 8° харсан туршилтын үр дүн.

ЕI-ийг SLM-д гаргах агшинд гэрэл үүсгэгчийн өнгийг Arduino Mega удирдлагын хавтан ашиглан улаан болон цэнхэр өнгөөр сольсон. Эдгээрийг синхрон ажиллуулахын тулд ЕI-аа үзүүлэхдээ MATLAB программаас компьютерын сериал портоор Arduino Mega руу утга дамжуулж байхаар шийдвэрлэсэн. Өөрөөр хэлбэл "S" дүрсийн ЕI нь SLM-д гарах агшинтай зэрэгцээд компьютерын сериал гаралтаар логик "1" гэсэн утга Arduino Mega удирдлагын хавтан руу дамжуулна. Утга хүлээн авсан Arduino Mega удирдлагын хавтан улаан өнгийн гэрэл үүсгэгчийг асаахад өнгөт ЦГҮ дэлгэцийн үүсгэж байгаа 3D дүрсийн туршилтын үр дүнг Зураг 12-д харуулав.

Бүлэг 2.1-н илэрхийлэл (2)-р ЦГҮ дэлгэцийн харагдах өнцөг нь тооцооллоор 17.2° бөгөөд Зураг 12 (а) болон (в)-д өнгөт ЦГҮ дэлгэцийн үүсгэсэн 3D дүрсийг зүүн 8° болон баруун 8° өнцгөөс, Зураг 12 (б)-д эгц урдаас буюу төв 0° -н өнцгөөс харсан туршилтын үр дүнг үзүүлэв. Үүнээс ЦГҮ дэлгэцийн харагдах өнцөг нь туршилтаар 16° байна.

Зураг 12-д "S" болон "P" дүрсийг нэгэн зэрэг улаан, цэнхэр өнгөтэй үүсгэсэн туршилтын үр дүнг харуулсан бөгөөд 1 Гц давтамжтайгаар эдгээр хоёр 3D дүрсийг үүсгэж байгаа тул дэлгэцэд зэрэгцэж харагдана.

Зураг 13-ын эхний дохио нь "S" дүрсийн ЕI болон улаан өнгийн LED-н гаралтын дохиог харуулсан бол, хоёрдугаар дохио нь "P" дүрсийн ЕI болон цэнхэр өнгийн LED-н гаралтын дохиог харуулав.



Зураг 13: Удирдлагын хавтангийн гаралтын дохио.

Зураг 13-д "S" дүрсийн ЕI болон RGB LED-г улаан өнгөөр 15 Гц-н давтамжтайгаар, "P" дүрсийн ЕI болон RGB LED-г цэнхэр өнгөөр 15 Гц-н давтамжтайгаар синхрон удирдахад өнгөт ЦГҮ дэлгэц нь ялгаатай өнгөтэй 3D дүрсүүдийг зэрэг үүсгэж байгаа нь гаралтын тэгш өнцөгт дохионуудаас харагдаж байна.

5 Дүгнэлт

Энэхүү судалгаагаар зөвхөн хар цагаан 3D дүрс

үзүүлдэг ЦГҮ дэлгэцэд RGB LED гэрэл үүсгэгч байрлуулан түүнийг хар цагаан SLM-тэй синхрон удирдсанаар өнгөт 3D дүрс үзүүлдэг ЦГҮ дэлгэцийн туршилтыг хийж ялгаатай өнгөтэй 3D дүрсүүдийг үүсгэсэн. Нэгэн агшинд өөр өөр өнгөтэй 3D дүрсүүд үүсгэхдээ ЕI-ийг MATLAB програмаар солихдоо компьютерын сериал гаралтаар Arduino Mega удирдлагын хавтан руу өнгөний утга дамжуулж ЕI-д харгалзах RGB гэрэл үүсгэгчийн өнгийг 15 Гц-н давтамжтайгаар синхрон удирдаж өнгөт 3D дүрсүүдийг үүсгэсэн. Хар цагаан SLM-тэй ЦГҮ дэлгэцэд RGB LED гэрэл үүсгэгч байрлуулан синхроноор удирдаж өнгөт 3D дүрс үүсгэсэн нь уг судалгааны ажлын шинэлэг тал болсон. ЦГҮ дэлгэцэд өнгөт SLM ашиглаж өнгөт 3D дүрс үүсгэх боломжтой ч өнгөт SLM нь өртөг өндөртэй тул бидний дэвшүүлж буй арга нь хар цагаан SLM-д RGB LED гэрэл үүсгэгч байрлуулан тэдгээрийг синхроноор удирдсанаар хямд өртгөөр өнгөт ЦГҮ дэлгэцтэй болсон давуу талтай. Гэвч энэхүү арга нь ЦГҮ дэлгэцийн үүсгэсэн 3D дүрсийг өнгөтэй болгосноос түүний нягтшил болон харагдах өнцгийг сайжруулаагүй. Цаашид өнгөт ЦГҮ дэлгэцийн үзүүлэлтүүдийг сайжруулах боломжтой.

Талархал

Энэхүү судалгааны ажлыг гүйцэтгэхэд туршилтын тоног төхөөрөмжөөр хангасан МУИС-ийн ХШУИС-ийн "Гурван хэмжээст дэлгэц болон дүрс боловсруулалт" лабораторийн эрхлэгч Проф. Б.Ганбат-д талархал илэрхийлье.

Зохиогчийн оролцоо

Б.Ганбат нь уг судалгааны ажлын санаа болон ерөнхий загварыг гаргасан. Д.Номин-Эрдэнэ нь туршилт болон дүн шинжилгээ хийж, өгүүлэл бичсэн. Т.Төгөлдөр нь туршилтад тусалсан.

Ашиг сонирхлын зөрчилгүйн баталгаа

Бүх зохиогчид ашиг сонирхлын зөрчилгүй болохыг баталж байна.

Ашигласан ном

- [1] Lipton L. Selection Devices for Field-Equential Stereoscopic Displays. Proceeding SPIE. 1991;1457:274-282.
- [2] Hodges LF. Time-multiplexed stereoscopic computer graphics. IEEE Computer Graphics and Applications. 1992;12:20-30.

- [3] Sandin DJ, Margolis T, Dawe G, Leigh L, DeFanti TA. Varrier autostereographic display. 2001;204–211.
- [4] Dodgson NA. Autostereoscopic 3D displays. Computer. 2005;38:31–36.
- [5] Lippmann G. La Photographie Integrale. Comptes-Rendus Academie des Sciences. 1908;146:446.
- [6] Lee B, Park JH, Min SW. Three-dimensional display and information processing based on integral imaging. Digital Holography and Three-Dimensional Display. 2006;333–378.
- [7] Park JH, Kim J, Bae JP, Kim Y, Lee B. Viewing Angle Enhancement of Three-Dimension/Two-Dimension Convertible Integral Imaging Display Using Double Collimated or Noncollimated Illumination. Japanese Journal of Applied Physics. 2005;44:991–994.
- [8] Densmaa B, Nomin-Erdene D, Munkh-Uchral E, Nam K, Ganbat B. Point light source display with a large viewing angle using multiple illumination source. SPIE. 2017.
- [9] Kim Y, Kim J, Kang J, Jung J, Choi H, Lee B. Point light source integral imaging with improved resolution and viewing angle by the use of an electrically movable pinhole array. Optics Express. 2007;15:18253–18267.
- [10] Kim Y, Park JH, Choi H, Jung S, Min S, Lee B. Viewing angle enhanced integral imaging system using a curved lens array. Optics Express. 2004;12:421–429.
- [11] Oikawa M, Shimobaba M, Yoda T, Nakayama H, Shiraki A, Masuda N, Ito T. Time division color electroholography using a one-chip RGB LED and synchronizing controller. Optics Express. 2011;19:12008–12013.
- [12] Nakayama H, Takada N, Ichihashi Y, Awazu S, Shimobaba T, Masuda N, Ito T. Real-time color electroholography using multiple graphics processing units and multiple high-definition liquid crystal display panels. Applied Optics. 2010;49:5993–5996.
- [13] Yaras F, Onural L. Color holographic reconstruction using multiple SLMs and LED illumination. Proc SPIE. 2009;7237:72370.
- [14] Shimobaba T, Shiraki A, Masuda N, Ito T. An electroholographic colour reconstruction by time division switching of reference lights. Applied Optics. 2007;9:757–760.
- [15] Shimobaba T, Shiraki A, Ichihashi Y, Masuda N, Ito T. Interactive color electroholography using FPGA technology and time division switching method. IEICE Electronics Express. 2008;5:271–277.